

(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成10年(1998)5月22日

FI

G O 3 F 1/08

A

7/20

7/20

5 2 1

5 2 1

502

HO 1 L. 21/027

H0 1 L 21/30

615F

528

審査請求 未請求 請求項の数14 OL (全 9 頁)

(71)出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 松岡 晃次

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器

産業株式会社内

(33)優先権主張国 日本(JP)

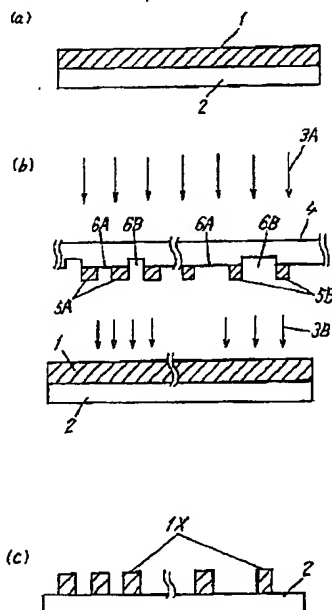
(74)代理人 弁理士 滝本 智之 (外1名)

(54) 【発明の名称】 フォトマスクおよびパターン形成方法

(57)【要約】

【課題】 位相シフトマスクを用いたパターン形成において、パターン間隔の相違に基づく寸法精度の誤差を抑制することを目的とする。

【解決手段】 遮光領域の両側の透過領域の位相が180度異なる位相シフトマスク4を用いてレジストパターンの形成を行うに際して、ポジレジスト1を露光するときに、マスク4の遮光領域5Aと遮光領域5Bの幅を隣接パターンとの間隔に応じて変化させ、同じ線幅の微細パターンを寸法精度良く形成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 遮光領域の両側の透過領域の位相が互いに180度異なるフォトマスクを用いてレジストを露光し、前記遮光領域に対応したレジストパターンを形成するフォトマスクであって、前記遮光領域の線幅が隣接するパターンの間隔に応じて補正されることを特徴とするフォトマスク。

【請求項2】 レジストパターンが任意の間隔を有する同一幅のパターンであることを特徴とする請求項1記載のフォトマスク。

【請求項3】 隣接するレジストパターンの間隔が $0.7\lambda/NA$ 以上のパターンを形成するマスク上の遮光領域と、隣接するレジストパターンの間隔が $0.5\lambda/NA$ 以下のパターンを形成するマスク上の遮光領域とで、遮光領域の幅を異ならせることを特徴とする請求項2記載のフォトマスク。

【請求項4】 遮光領域の両側の透過領域の位相が互いに180度異なるフォトマスクを用いてポジレジストを露光し、同一幅のラインパターンを形成するフォトマスクであって、隣接するパターンの間隔が所定距離以上である2つの前記遮光領域の間に新たに遮光領域を設けたことを特徴とするフォトマスク。

【請求項5】 遮光領域と新たに設けた遮光領域の間の透過領域の幅 $x$ を、 $0.5\lambda/NA \leq (\text{透過領域の幅 } x) \times (\text{投影光学系の縮小率}) \leq 0.8\lambda/NA$ とすることを特徴とする請求項4記載のフォトマスク。

【請求項6】 隣接するパターンとの間隔がパターン線幅の6倍以上であることを特徴とする請求項4記載のフォトマスク。

【請求項7】 遮光領域の両側の透過領域の位相が互いに180度異なるフォトマスクを用いてレジストを露光し、前記遮光領域に対応したレジストパターンを形成するパターン形成方法であって、前記遮光領域の線幅が隣接するパターンの間隔に応じて補正されたフォトマスクを用いたことを特徴とするパターン形成方法。

【請求項8】 レジストパターンが任意の間隔を有する同一幅のパターンであることを特徴とする請求項7記載のパターン形成方法。

【請求項9】 隣接するレジストパターンの間隔が $0.7\lambda/NA$ 以上のパターンを形成するマスク上の遮光領域と、隣接するレジストパターンの間隔が $0.5\lambda/NA$ 以下のパターンを形成するマスク上の遮光領域とで、遮光領域の幅を異ならせたフォトマスクを用いることを特徴とする請求項8記載のパターン形成方法。

【請求項10】 遮光領域の両側の透過領域の位相が互いに180度異なるフォトマスクを用いてポジレジストを露光し、同一幅のラインパターンを形成するパターン形成方法であって、隣接するパターンの間隔が所定距離以上である2つの前記遮光領域の間に新たに遮光領域を設

けたフォトマスクを用いたことを特徴とするパターン形成方法。

【請求項11】 遮光領域と新たに設けた遮光領域の間の透過領域の幅 $x$ を

$0.5\lambda/NA \leq (\text{透過領域の幅 } x) \times (\text{投影光学系の縮小率}) \leq 0.8\lambda/NA$ とされたフォトマスクを用いたことを特徴とする請求項10記載のパターン形成方法。

【請求項12】 遮光領域の両側の透過領域の位相が互いに180度異なるフォトマスクを用いてレジストを露光し、前記遮光領域に対応したレジストパターンを形成するパターン形成方法であって、すべての隣接するパターン間隔が少なくとも $0.65\lambda/NA$ 以上離れていることを特徴とするパターン形成方法。

【請求項13】 半導体基板上にポジレジストを塗布する工程と、回路パターンを形成する遮光領域の両側の透過領域の位相が互いに180度異なり、遮光領域の線幅が隣接するパターンの間隔に応じて補正されたフォトマスクを用いてレジストを露光する工程と、回路パターンに必要な部分を遮光した第2露光用のマスクを用いて露光することで、不要レジストパターンを除去する工程を含む半導体装置の製造方法。

【請求項14】 半導体基板上にポジレジストを塗布する工程と、回路パターンを形成する遮光領域の両側の透過領域の位相が互いに180度異なり、隣接するパターンの間隔が所定距離以上である2つの前記遮光領域の間に新たに遮光領域を設けたフォトマスクを用いてレジストを露光する工程と、回路パターンに必要な部分を遮光した第2露光用のマスクを用いて露光することで新たに設けられた遮光領域に対応するレジストパターンを含んだ不要レジストパターンを除去する工程を含む半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は半導体集積回路の製造におけるリソグラフィプロセスでの微細パターンの形成に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、半導体の設計ルールは微細化の一途をたどり、すでに $0.25\mu\text{m}$ レベルの半導体チップが市場に出はじめている。このような微細化の流れに伴い、リソグラフィにおける露光波長も短波長化されg線( $436\text{nm}$ )からi線( $365\text{nm}$ )、KrFエキシマレーザ( $248\text{nm}$ )へと移り変わってきた。次世代のリソグラフィとしてArFエキシマレーザ( $193\text{nm}$ )を露光光として用いるステッパの開発が進められているが、レンズ材がArFエキシマレーザ光等の超短波長光を吸収してしまう問題などからその開発が遅れている。そこで、KrFエキシマレーザを利用したリソグラフィ技術に対して、様々な超解像技術の検討が行われて

きている。

【0003】一般に、縮小投影露光法による光リソグラフィの限界解像度は、露光波長に比例し、投影レンズの開口数に反比例する。従来、KrFエキシマレーザ（波長248nm）と開口数0.4～0.5の投影レンズを用いて0.3μm程度のパターンの形成が達成されている。

【0004】縮小投影露光法における解像限界を向上する超解像技術のなかで、優れた解像性を示す技術のひとつにレベンソン位相シフトマスクを用いた方法がある。従来のレベンソン位相シフトマスクを用いたパターン形成の一例について以下に説明する。

【0005】図8(a)～(c)は従来の位相シフトマスクを用いたパターン形成方法の工程断面図を示すものである。これらの図において、21はポジレジスト、22は基板、23Aおよび23Bは露光光、24は位相シフトマスクである。25は遮光領域、26Aおよび26Bは透過領域であり、透過領域26Bは透過領域26Aに対して露光光23Aの位相が180度異なるように設定されている。露光光23Aはマスク24を照明し、マスクの透過領域を通過した露光光23Bはレジスト21に結像する。

【0006】図8(a)においてまず基板22上にポジレジスト21を塗布する。ポジレジスト21はKrFエキシマレーザ用の化学増幅型レジストで0.5ミクロンの膜厚で塗布した。次に位相シフトマスク24を通してポジレジスト21を露光した。

【0007】露光装置（ステッパ）の露光条件は露光波長 $\lambda=248\text{nm}$ 、開口数 $\text{NA}=0.48$ 、コヒーレントファクタ $\sigma=0.30$ である。レベンソン位相シフトマスクは、図8(b)に示されるように、透過領域26Bの石英を掘り込んであり、ここを透過する光の位相を透過領域26Aを透過する光に対して180度位相を反転させている。

【0008】まず露光光23Aはマスク24を照明し、パターン密度に応じて光が回折される。レベンソン位相シフトマスクの場合、遮光領域を介して両側の透過領域の位相が180度異なるため、周期パターンでは0次および偶数次光は打ち消される。また、 $\pm 1, 3, 5$ 等の奇数次光は通常マスクの半分の角度で回折される。一般に投影レンズを通過できる光の角度は有限であるため、パターンの解像度はレンズを通過できるパターン周期であると言えることができる。レベンソン位相シフトマスクは通常マスクの半分の角度で光が回折されるため、理想的には通常マスクの2倍の高解像度を得ることが可能となる。

【0009】レベンソン位相シフトマスクによって高解像度を実現するためには空間的な光の位相を揃える（コヒーレンシーを高める）必要がある。コヒーレンシーの度合を表す単位として投影レンズのNAと照明系のNA

の比 $\sigma$ （コヒーレントファクタ）が用いられる。この $\sigma$ の値が小さいほど光のコヒーレンシーが高くなる。一般にステッパで通常マスクを照明する場合は光学系のコヒーレントファクタは $\sigma=0.5\sim 0.8$ 程度で行われるが、レベンソン位相シフトマスクを用いる場合には $\sigma=0.2\sim 0.4$ 程度にする必要がある。

【0010】上記の図8(b)のパターン露光の後、PEB（Post Exposure Baking：露光後ベーク処理）を行い通常のアルカリ水溶液で60秒現像を行いレジストパターンを形成した（図8(c)）。このパターン形成方法によれば、露光波長248nm（0.248μm）よりもはるかに微細な0.16μmのラインアンドスペースパターンを解像することができた。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】一般的にレベンソン位相シフトマスクは微細な周期パターンで効果が得られるために、周期パターンを多く含むDRAMデバイスへの適用が検討されてきた。しかしながら、レベンソン位相シフトマスクでは、同一線幅でも隣り合うパターンとの間隔が異なれば、ウエハ上に転写されるレジスト寸法が変化するという問題点があった。このため、ロジックデバイスのゲートパターンの線幅の寸法制御が非常に重要となるものの、ロジックデバイスはランダムパターンを多く含むことから、ロジックデバイスへの適用はあまり検討されていなかった。

【0012】図8(c)においてパターン21Xは0.16μmのラインアンドスペースパターン、21Yは0.16μmライン/0.48μmスペースとなるように設計されたマスクパターンを転写したレジストパターンである。このとき、それぞれのウエハ上に転写されたレジストパターンの実際の寸法はパターン21Xは0.16μmに形成されたが、パターン21Yは0.20μmとなり、両者の寸法差は0.04μmとなった。通常のトランジスタゲートを形成する場合、その寸法変動の目安は線幅の $\pm 10\%$ であるので、0.16μmの線幅では約0.03μm以内に抑えなければならない。よって、従来の位相シフトマスクによるパターン形成方法は、高い寸法精度を要求するトランジスタゲートのパターン形成に用いることができなかった。

【0013】上記問題点を解決するために、本発明は位相シフトマスクを用い、線幅のバラツキの少ない微細パターンの形成方法およびそれに用いる位相シフトマスクを提供するものである。

【0014】

【課題を解決するための手段】レベンソン位相シフトマスクを用いたパターン形成において、同一線幅でも隣り合うパターンとの間隔が異なればウエハ上に転写されるレジストパターンの寸法が変化する現象が光近接効果によるものであることが見出された。とくに、隣接するパターンとの間隔が規格化された値で $1.0\lambda/\text{NA}$ 以下

の領域で顕著となることを発見した。

【0015】本発明のフォトマスクは、遮光領域の両側の透過領域の位相が互いに180度異なるフォトマスクを用いてレジストを露光し、前記遮光領域に対応したレジストパターンを形成するフォトマスクであって、前記遮光領域の線幅が隣接するパターンの間隔に応じて補正されることを特徴とする。

【0016】また、本発明のフォトマスクは、遮光領域の両側の透過領域の位相が互いに180度異なるフォトマスクを用いてポジレジストを露光し、同一幅のラインパターンを形成するフォトマスクであって、隣接するパターンとの間隔が所定距離以上である2つの前記遮光領域の間に新たに遮光領域を設けたことを特徴とする。

【0017】このように、本発明のパターン形成方法は、上記のフォトマスクを用いることにより、フォトマスクを通過した光強度、光プロファイルが変化し、あるいは特定のパターン間隔をなくすことによって、異なる間隔のラインパターンにおいても、それぞれの光強度分布のしきい値での幅の分布が狭まり、ほぼ同一線幅のレジストパターンを形成することができる。

【0018】

【発明の実施の形態】以下本発明の一実施の形態のパターン形成方法について、図面を参照しながら説明する。

【0019】まず、レベンソン位相シフトマスクを用いたパターン形成において、光近接効果によって線幅変動が大きくなることについて説明する。

【0020】レベンソン位相シフトマスクを使った周期パターン形成では、解像限界付近では±1次光だけの結像となる。この光強度分布は正弦波で表される。とりわけ、すべての1次光が入射してから3次光が入射するまでのパターン周波数では、光強度が一定のままで（正弦波の振幅が変わらず）、パターンピッチ（正弦波の周期）が広がるため、パターン線幅が大きく変化する。これが図5（b）の正規化されたパターン間隔の1.0以下の部分の傾きが急な領域に相当する。これはレベンソン位相マスクに特有の光近接効果であり、通常マスクに比べて非常に短い範囲内で寸法が大きく変化する。我々はこの現象を発見し、正規化されたパターン間隔の1.0以下の部分に補正を行うことで、パターン線幅のバラツキを小さくすることを達成した。

【0021】（実施の形態1）図1は、本発明の実施の形態1におけるパターン形成方法の工程断面図を示したものである。図2は、図1に示された本実施の形態の位相シフトマスクの一部をウエハ側から見たマスク構成図である。また、図3はレジスト上に結像する光強度の分布を示したものである。

【0022】図1、図2において、1はポジレジストであり、2は基板、3A、3Bは露光光である。露光光3Aはマスクを照明する光であり、露光光3Bはマスクを通過して、レジストに結像する光である。4はフォトマ

スクで、5、5A、5Bは遮光領域、6A、6Bは透過領域であって、透過領域6Bは透過領域6Aに対して露光の位相を180度反転させている。以下、図面を用いて本発明のパターン形成方法を説明する。

【0023】まず、図1（a）においてポジレジスト1を基板2上に塗布した。レジストはKrF用化学増幅型ポジレジストであり、膜厚は0.5μmとなるように設定した。次に図1（b）において露光光3Aは位相シフトマスク4を照明し、マスクを通過した露光光3Bでポジレジスト1を露光する。なお、ステップの露光条件は、露光波長λ=248nm、開口数NA=0.48、コヒーレントファクタσ=0.40であり、5:1の縮小タイプの投影露光装置を用いた。位相シフトマスク4は石英基板を掘り込むことによって位相を180度変える掘り込みタイプのものを用いた。

【0024】上記した図1（b）の位相シフトマスクの詳細について図2を用いて説明する。図2の遮光領域5A、5Bはウエハ上で微細なレジストパターンが形成される箇所であり、x a、x bはそれぞれの幅を示している。遮光領域5Aはウエハ上で0.16μmラインアンドスペースパターンが形成される領域で、遮光領域5Bは0.16μmライン/0.48μmスペース間隔のパターン領域であり同一のマスク上に存在する。露光は5分の1の縮小のステップで行なったので、マスクパターンはウエハ上に5分の1に縮小して転写される。よって、図1（b）のマスク寸法は実際に転写されるレジストパターン寸法の5倍の大きさとなる。本実施の形態で用いた遮光領域5Aの幅x aは0.80μm、遮光領域5Bの幅x bは0.50μmとした。

【0025】図3（a）は図2の寸法補正を施されたマスクを通過したときのウエハ上で空間光強度を示したものであり、図3（b）はマスク補正を行なわずにパターン寸法通りにマスクの遮光領域を0.80μmにしたときの空間光強度を示したものである。

【0026】図3において、露光量を調整することで0.16μmのラインアンドスペースが1:1に形成される光強度が破線である。レジストはポジレジストなので、破線より下の部分にレジストパターンが形成される。よって形成されるレジストパターンの線幅は破線で示された光強度分布の幅に相当する。図3（a）では0.16μmライン/0.48μmスペースのパターンでは0.171μmのレジストパターンが形成されるが、図3（b）の補正を行なわないマスクでは0.190μmにもなってしまう。このように位相シフトマスクの遮光領域の幅を調整することによってウエハ上の光強度を変化させ寸法を調整することができる。

【0027】その後、図1（c）でこのような光強度で露光されたレジストをPEB（露光後ベーク処理）後にアルカリ水溶液で60秒間現像してレジストパターン1xを形成する。本実施の形態によれば、0.16μm線

幅のレジストパターンが寸法精度 $\pm 10\%$ 以内で精度良く形成することができる。

【0028】以上のように本発明の形態によれば、位相シフトマスクの遮光領域の幅を変えることによってパターン間隔の異なる同一の線幅を設計寸法通りに精度良く形成することができる。

【0029】(実施の形態2)以下、本発明の実施の形態2におけるパターン形成方法について図面を参照しながら説明する。図4は、細長い遮光領域の両側の透過領域の位相が $180^\circ$ 異なる位相シフトマスクをポジレジストに用いたときの $0.16\mu\text{m}$ 線幅とパターン間隔の関係を光強度シミュレーションを用いて求めたものである。シミュレーションの条件は露光波長 $\lambda = 248\text{nm}$ 、開口数 $\text{NA} = 0.60$ 、コヒーレントファクタ $\sigma = 0.3$ で、しきい値の光強度は $0.16\mu\text{m}$ ラインアンドスペースパターンが $1:1$ となる値に設定している。

【0030】図4において、曲線a(黒丸)はマスク補正を行なわないものを示し、すべてのパターンのマスク上の遮光領域の幅はウエハ上の値に換算して(遮光領域幅 $\times$ 縮小率)でレジストパターンと同様の $0.16\mu\text{m}$ である。一方、曲線b(白三角)は設計上の隣接するパターン間隔が規格化された値 $0.67\lambda/\text{NA}$ 以上のパターンにおいて、マスク上の遮光領域幅をウエハ上に換算して $0.10\mu\text{m}$ に設定したものである。マスクの遮光領域の幅を補正することによって線幅の最大値と最小値の差がほぼ半分に低減することがわかる。

【0031】上記のように、隣接するパターン間隔が $0.67\lambda/\text{NA}$ 以上のパターンにおいてマスク補正を行う理由について以下に説明する。

【0032】マスク補正を隣接するパターン間隔が $0.67\lambda/\text{NA}$ 以下のパターンに対して行くと、図4の曲線b(白三角)の傾向からも明らかなように、実際のパターンの線幅は $0.16\mu\text{m}$ よりも小さくなってしまふ。すなわち、隣接するパターン間隔が $0.67\lambda/\text{NA}$ 以下のパターンに対してはマスク補正を行なわない場合の方が設計寸法の $0.16\mu\text{m}$ に近いと考えられる。したがって、隣接するパターン間隔が $0.67\lambda/\text{NA}$ 以上のパターンに対してだけマスク補正を行うことが望ましいと考えられる。

【0033】このように本実施の形態の形態では設計上のパターン間隔が $0.67\lambda/\text{NA}$ 以上のパターンのマスクの遮光領域をウエハ上の換算値で $0.10\mu\text{m}$ とし、それ以下の間隔のパターンを $0.16\mu\text{m}$ としてマスク上に2つの遮光領域の幅を設けた。これによって、レジストパターンの線幅のバラツキを従来の半分に低減できる。

【0034】なお、本実施の形態では、パターン間隔が $0.67\lambda/\text{NA}$ を境としてマスクパターンの遮光領域の幅を変化させたが、少なくともパターン間隔が $0.5\lambda/\text{NA}$ 以下の領域とパターン間隔が $0.7\lambda/\text{NA}$ 以

上の領域のマスクパターンの遮光領域の幅を異ならしめることにより同様の効果を得ることができる。

【0035】(実施の形態3)以下、本発明の実施の形態3におけるパターン形成方法について図面を参照しながら説明する。図5は細長い遮光領域の両側の透過領域の位相が $180^\circ$ 異なる位相シフトマスクをポジレジストに用いたときの線幅とパターン間隔との関係を光強度シミュレーションと実験によって求めたものである。図5(b)は線幅とパターン間隔を $\lambda/\text{NA}$ で規格化したものである。図5(b)において、曲線aは $\text{NA} = 0.60$ 、bは $\text{NA} = 0.55$ 、cは $\text{NA} = 0.48$ の場合をそれぞれ示す。コヒーレントファクタはいずれの場合も、 $\sigma = 0.30$ である。

【0036】図5から明らかなように、すべての線幅においてパターン間隔が規格値 $0.5-1.0$ までの間に線幅は急激に太くなり、規格値 $1.0$ 付近で最もレジスト線幅は大きくなる。その後、線幅は緩やかに小さくなる。

【0037】例えば、図5(b)における曲線a、b、cについて考えると、パターン間隔が $0.4\lambda/\text{NA}$ 付近で規格化された線幅が最小となり、パターン間隔が $1.0\lambda/\text{NA}$ 付近で規格化された線幅が最大となる。その後、パターン間隔の増大とともに線幅は緩やかに減少している。したがって、線幅のバラツキを抑制するためには、隣接するパターンとの間隔が規格値 $0.65\lambda/\text{NA}$ 以下の領域を使わないようにすればよいことがわかる。

【0038】実際に、規格値 $0.7$ 以下のパターン間隔がないように設計ルールを定め、露光波長 $\lambda = 248\text{nm}$ 、開口数 $\text{NA} = 0.48$ 、コヒーレントファクタ $\sigma = 0.40$ で、 $5:1$ の縮小タイプの投影露光装置を用いて $0.16\mu\text{m}$ 線幅のレジストパターンを露光した。このような位相シフトマスクによって得られた寸法バラツキは $0.16\mu\text{m} \pm 10\%$ に抑えることができた。

【0039】以上のようにウエハ上に存在するパターンの隣接するパターンとの間隔を $0.65\lambda/\text{NA}$ 以上に制限することによって寸法バラツキを制限することができた。

【0040】(実施の形態4)以下、本発明の実施の形態4におけるパターン形成方法を図を参照しながら説明する。図6(a)は本実施の形態を示すマスクの一部をウエハ側から見たマスク構成図であり、図6(b)は二回目の露光に用いるマスク構成図であり、図6(c)は2度の露光で転写されたレジストパターンを示している。

【0041】図9(a)は、従来の位相シフトマスクの一部のウエハ側から見たマスク構成図であり、図9(b)は従来の2回目の露光に用いるマスク構成図であり、図9(c)は転写されたレジストパターンを示している。これらの図において、15は遮光領域、16、1

6A、16Bは透過領域であって、透過領域16Bは透過領域16Aに対して露光の位相を180度反転させている。1Aは形成されたレジストパターンである。また、図7は本発明の位相シフトマスクの透過領域の幅を変化させた場合の光強度分布の傾きを示す図である。

【0042】本実施の形態4の位相シフトマスクを用いたパターン形成方法を従来例と比較しながら説明する。図6(a)および図9(a)においてウエハ上において微細ラインパターンは隣接するパターン間隔が線幅の6倍以上離れている。本実施の形態では、隣接するパターン間隔が所定距離(線幅の6倍)以上離れている領域において、図6(a)に示すように、透過領域16Aと16Bに特定の制限幅 $x$ を設定している。すなわち、位相が180度異なる領域を対にして形成し、透過領域が広がらないようにしている。

【0043】これに対して、図9(a)の従来例のマスクではそのような特定の幅がないために、隣接するパターンとの間がすべて透過領域16Aと16Bになる。このため広い間隔を有するパターンにおいてはパターン間隔によって透過領域が異なるために、線幅が変化しやすい。

【0044】図6(a)に示される位相シフトマスクでは、孤立パターンの両側に透過領域を形成するため、中央部分に遮光領域が形成されることになる。このため、本来光を透過させるべき部分に光が照射されないことになるが、その後の微細パターンの上下の部分を取り除くための2度目の露光工程でこの部分に光を照射すればよい。本実施の形態に用いる2度目の露光に用いるマスク(図6(b))は従来のマスク(図9(b))と比較すると、位相シフトマスクの孤立パターン間の遮光領域に

対応する位置が透過領域とされていることがわかる。【0045】図6(a)に示した位相シフトマスクのように特定の透過領域の幅 $x$ を定めれば、パターン間隔が異なっても透過領域を通過する光強度は変化せず、寸法精度良くレジストパターンを形成することができる。また、図9(a)に示されるような従来の位相シフトマスクでは1つの透過領域を2つのパターンが共有するために、パターン配置を設計するときに常に位相を考慮する必要がある。しかし、1つのパターンで左右1対の透過領域を有する図6(a)の場合は、遮光領域の周囲の透過領域の位相にかかわらず自由にマスクを設計できる長所がある。

【0046】図7は0.16 $\mu$ mの孤立パターンにおいて位相シフトマスクの透過領域幅 $x$ を変化させた場合の光強度分布の傾きをシミュレーションを用いた調べたものである。グラフのy軸は0.16 $\mu$ m線幅を形成する光強度での光強度分布の傾きを、x軸はマスクの透過領域 $x$ をウエハ上に換算( $x \times$ 投影露光装置の縮小率)した値をさらに $\lambda/NA$ に規格化している。

【0047】シミュレーション条件は露光波長 $\lambda = 24$

8nm、コヒーレントファクタ $\sigma = 0.3$ で、図中曲線a(黒丸)は開口数 $NA = 0.48$ で、曲線b(白丸)は開口数 $NA = 0.60$ の条件で行なったものである。特定のマスク上の透過領域幅で光強度分布の傾きはピーク値をもつことがわかる。一般に、光強度分布の傾きは大きいほど寸法に対する露光量のマージンが大きくなる。このことはパターン照射領域内で露光量のバラツキが存在しても、光強度分布の傾きが大きければ寸法のバラツキが小さくなることと同義である。よって、この図から寸法精度を向上させるためには、透過領域の幅 $x$ は $0.50\lambda/NA \leq (x \times \text{投影光学系の縮小率}) \leq 0.80\lambda/NA$ の範囲が好ましい。

【0048】実際に、本発明の位相シフトマスクの透過領域幅 $x$ はウエハ上の寸法換算で0.65 $\lambda/NA$ に設定し、露光波長 $\lambda = 248$ nm、開口数 $NA = 0.48$ 、コヒーレントファクタ $\sigma = 0.30$ のステップを用いて露光した。形成されたレジスト寸法を測定した結果、パターン間隔が広い0.16 $\mu$ mラインパターンに対しては0.16 $\mu$ m $\pm 10\%$ の寸法精度を得ることができた。

【0049】以上のように、位相シフトマスクの透過領域に特定の幅を設けることにより、パターン間隔に依存しない高精度のパターン形成ができる。

【0050】なお、本発明の実施の形態においては位相シフトマスクは掘り込みタイプとしたが、透過膜積層タイプでもよい。

【0051】

【発明の効果】以上のように本発明は、線幅の間隔に応じて、位相シフトマスクの遮光領域の幅を変化させる、または一定以上のパターン間隔とする、または透過領域の間隔を常に一定に保つというマスク構成とすることにより、位相シフトマスクを用いるときに生じる光近接効果による寸法バラツキを低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態1におけるパターン形成方法の工程断面図

【図2】本発明の実施の形態1におけるパターン形成方法に用いるマスクの構成図

【図3】本発明の実施の形態1におけるパターン形成方法の光強度分布を示す図

【図4】本発明の実施の形態2におけるパターン形成方法の線幅とパターン間隔との関係を示す図

【図5】本発明の実施の形態3におけるパターン形成方法の線幅とパターン間隔との関係を示す図

【図6】本発明の実施の形態4におけるパターン形成方法を説明する図

【図7】本発明の実施の形態4におけるパターン形成方法の透過領域と光強度分布の傾きの関係を示す図

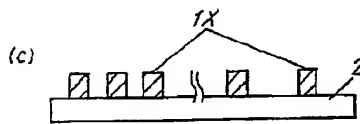
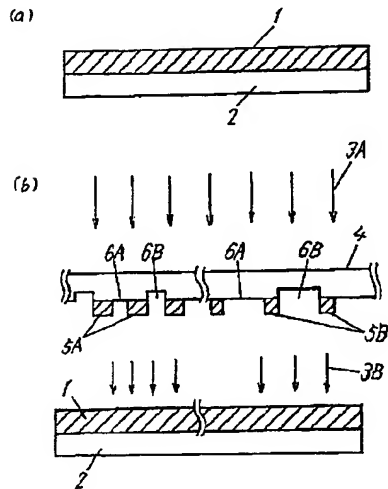
【図8】従来のパターン形成方法の工程断面図

【図9】従来のパターン形成方法を説明する図

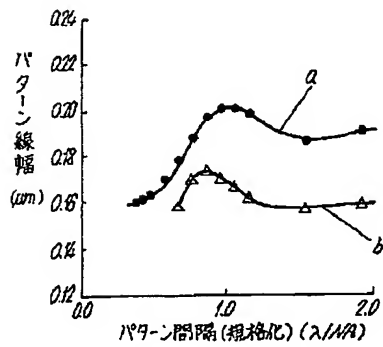
## 【符号の説明】

- 1 ポジレジスト  
 2, 22 基板  
 3A, 3B, 23A, 23B 露光光

【図1】



【図4】



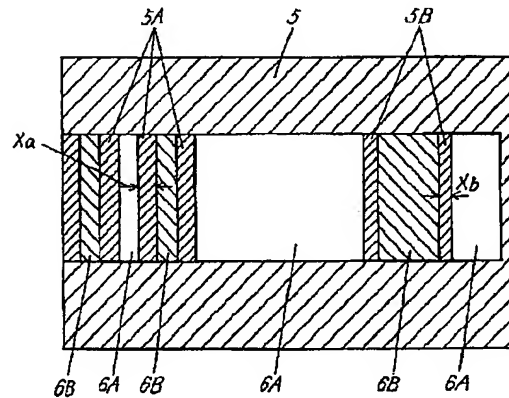
## \* 4 マスク

5, 5A, 5B, 15, 25 マスクの遮光領域

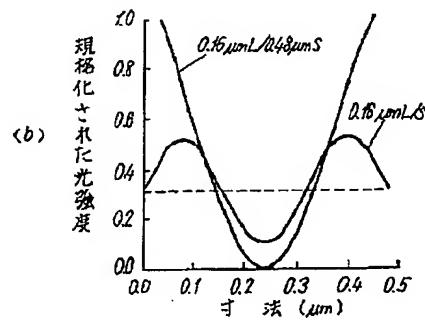
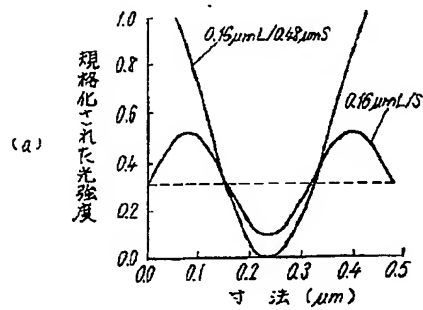
6, 6A, 6B, 16A, 16B, 26A, 26B マ

スクの透過領域

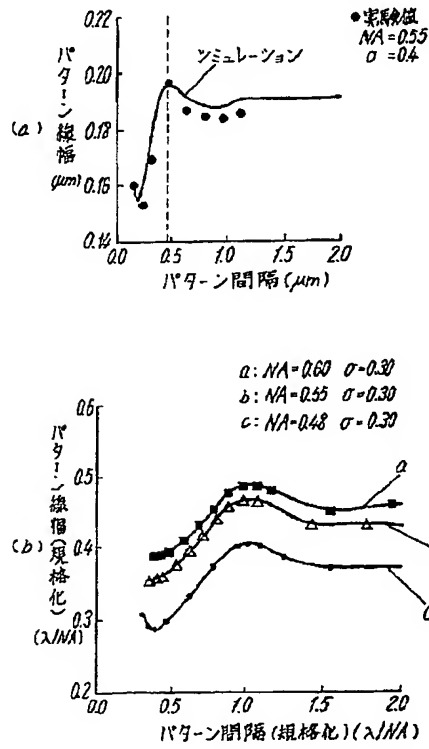
【図2】



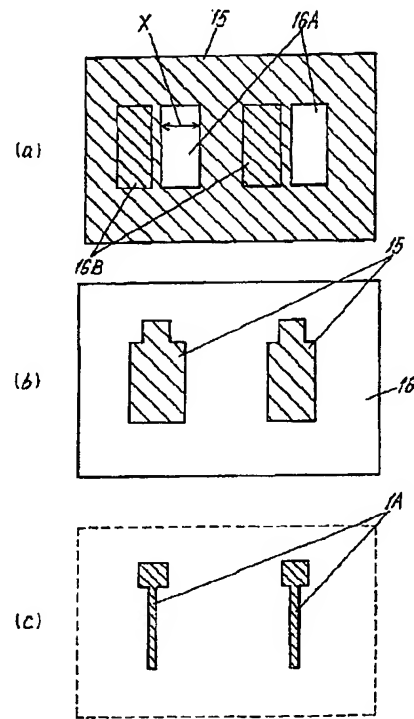
【図3】



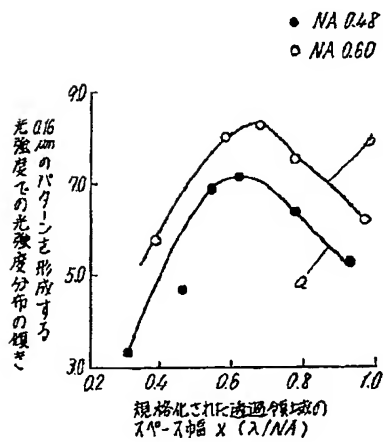
【図5】



【図6】

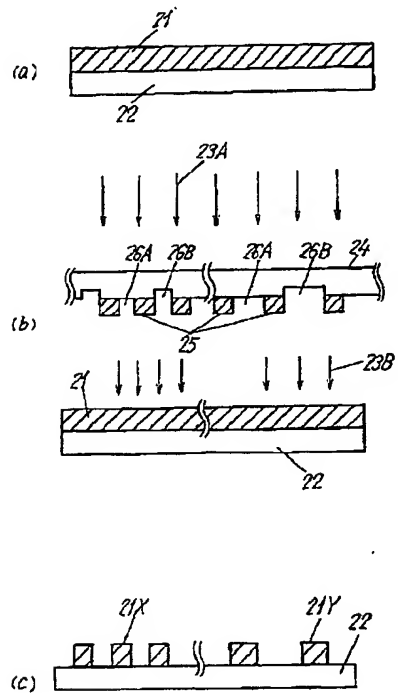


【図7】

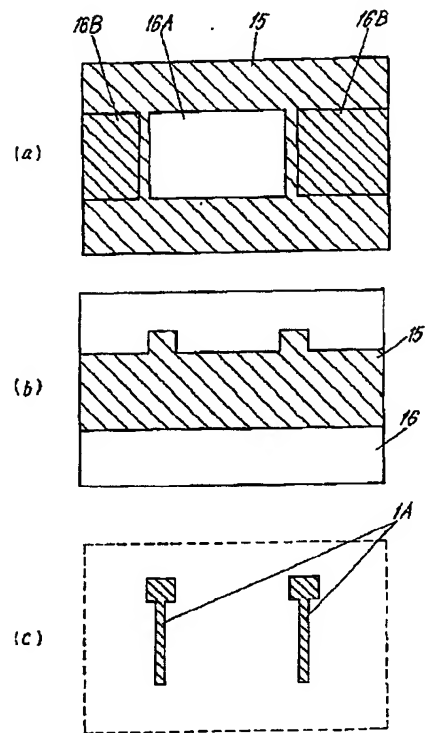




【図8】



【図9】



# DEBIT NOTE

No. 00-04236

(When remitted, kindly quote this No. without fail.)

May 09, 2000

## BANKERS

HAYNES & BEFFEL LLP

Attention: Mr. Mark A. Haynes

BANK	A/C NO.
The Bank of Tokyo-Mitsubishi, Ltd. Kyobashi Branch	1320695
The Bank of Tokyo-Mitsubishi, Ltd. Head Office	4506993
The Sumitomo Bank, Ltd. Marunouchi Branch	507302
The Fuji Bank, Ltd. Marunouchi Branch	623625

NAKAMURA & PARTNERS

NEW TOKYO BUILDING  
3-1, MARUNOUCHI 3-CHOME, CHIYODA-KU  
TOKYO, 100-8355 JAPAN  
TELEPHONE: (03) 3211-8741

Re:

New Client Inquiry  
Numerical Technologies, Inc.  
Your Ref.: NMTI001

HAYNES & BEFFEL LLP

MAY 15 2000

**FILE COPY:** RECEIVED  
ORIGINAL TO ACCOUNTING

Details	Attorneys Fee and /or Disbursements	Official Fee
OBTAINING COPIES OF OFFICIAL GAZETTE	¥ 5,000	¥
	sub-total	sub-total
	5,000	0
Remarks:	TOTAL	¥ 5,000
	consumption TAX	0
	withholding income TAX	0
	ADVANCE RECEIVED	0
	BALANCE	¥ 5,000

\* Please let us have your remittance directly into our account (Nakamura & Partners) by the wire transfer to any one of the above banks.

PLEASE REMIT IN JAPANESE CURRENCY